ÜBER DIE BILDUNG

DER

TONLEITER.

EIN POPULÄR-WISSENSCHAFTLICHER VORTRAG

GEHALTEN

ZUM BESTEN DES PHILOSOPHISCHEN UNTERSTÜTZUNGS-VEREINES DER WIENER UNIVERSITÄT AM 20. MÄRZ 1868

VON

VIKTOR VON LANG

WIEN, 1868.
WILHELM BRAUMÜLLER
K. K. HOF- UND UNIVERSITÄTSBUCHHÄNDLER.

Meine Damen, meine Herren!

Lassen Sie mich meinen Vortrag, welcher der Bildung der Tonleiter gewidmet ist, damit beginnen, zuerst einige Worte über die Bildung des Tones selbst zu sagen. Denn wenn über letzteren Gegenstand auch schon die alten Griechen und Römer lange Abhandlungen schrieben, so ist doch die wahre Erkenntniss von den Bedingungen, unter welchen ein Ton entsteht, verhältnissmässig jungen Datums. Es ist freilich für den, der neben einer Posaune sitzt, schwer, das Zittern der Luft beim Tönen derselben nicht zu merken, trotzdem weiss man erst seit 200 Jahren, dass es gerade die regelmässig aufeinanderfolgenden Erschütterungen der Luft sind, welche den Ton entstehen machen. Folgen die Erschütterungen der Luft unregelmässig aufeinander, so geben sie ein blosses Geräusch. Ich habe hier eine gezähnte eiserne Scheibe, welche mittelst eines grossen Rades und eines Schnurlaufes in rasche Rotation versetzt werden kann. Ich drehe zuerst langsam und halte ein Kartenblatt an die Zähne, so oft ein Zahn an dem Blatt vorbeigeht, wird es in die Höhe gehoben und schlägt dann gegen die Scheibe, diess bewirkt jedesmal eine kleine Lufterschütterung. Sie hören wie die einzelnen Erschütterungen aufeinander folgen. — Ich drehe nun rascher; jetzt können Sie die einzelnen Erschütterungen nicht mehr hören, dieselben setzen sich zu einem continuirlichen Schall zusammen, sie bilden einen Ton. Der Charakter dieses Tones ändert sich mit der Umdrehungsgeschwindigkeit der gezähnten Scheibe, drehe ich rascher, so steigt der Ton, er wird wie man sich ausdrückt, höher, lasse ich mit der Umdrehungsgeschwindigkeit nach, so fällt der Ton, er wird niedriger. Dieser einfache Versuch lehrt uns also, dass durch gleichmässig aufeinander folgende Lufterschütterungen ein Ton entsteht, und dass die Höhe dieses Tones auf der Geschwindigkeit beruht, mit der die einzelnen Erschütterungen aufeinander folgen. Je grösser

die Geschwindigkeit, desto mehr Erschütterungen werden in einer Sekunde ausgeführt werden und desto höher wird der Ton sein.

In dem eben gemachten Experimente wurden die Lufterschütterungen hervorgebracht durch den Stoss zweier fester Körper an einander, des Kartenblattes und der Zähne der eisernen Scheibe. Man kann aber ebenso Töne durch den Stoss von Flüssigkeiten gegen Flüssigkeiten, oder von Gasen gegen Gase hervorbringen. Um den letztern Fall zu beweisen, ist unsere rotirende Scheibe mit Löchern versehen, welche in 8 Reihen parallel dem Umfange angeordnet sind. In jeder Reihe stehen aber die Löcher gleichweit von einander ab. Ich will nun durch ein dünnes Glasrohr gegen die äusserste Reihe blasen, während die Scheibe in Drehung versetzt wird. Hiebei wird der Luftstrom, der aus dem Glasrohr kommt, abwechselnd unterbrochen und durchgelassen; so oft nämlich ein Loch vor die Oeffnung des Glasrohres tritt, kann der Luftstrom durch das Loch dringen und auf die Luft auf der andern Seite der Scheibe einen Stoss ausüben. Diese Erschütterungen setzen sich wieder zu einen Ton zusammen. Beobachten Sie den Effect: Sie hören einen Ton.

Würde ich einen Theil der Löcher dieser Reihe zustopfen, so dass die offen gebliebenen Löcher in verschiedenen Abständen auf einander folgen, so würde ich bei der Wiederholung des Experimentes keinen Ton mehr hören, sondern nur ein Geräusch, weil jetzt die Lufterschütterungen unregelmässig aufeinander folgen.

Die anderen Löcherreihen, welche Sie noch auf der Scheibe bemerken, haben desto weniger Löcher je näher sie dem Mittelpunkte sind. Blase ich daher bei unveränderter Umdrehungsgeschwindigkeit die verschiedenen Löcherreihen an, so bekomme ich verschiedene Töne und zwar desto tiefere, je mehr ich mich dem Mittelpunkte nähere, je weniger Erschütterungen also auf dieselbe Zeit entfallen. Sie werden auch bald merken, dass die acht Töne welche diese verschiedenen Löcherreihen geben, die Dur-Tonleiter bilden sollen. Die Zahl der Löcher in den einzelnen Reihen ist nämlich 24, 27, 30, 32, 36, 40, 45, 48. Diese Zahlen verhalten sich aber gerade so, wie es unsere nachfolgenden Betrachtungen über die Tonleiter erfordern.

Dass die Töne, die ich bis jetzt Ihnen vorzuführen Gelegenheit hatte, nicht besonders wohlklingend sind, haben Sie wohl mit Verwunderung ohnediess bemerkt. Ich habe diese Töne aber auch für keine musikalischen ausgegeben. Bei den Tönen, die in der Musik verwendet werden, müssen die Erschütterungen der Luft auf

eine viel feinere und zartere Weise hervorgebracht werden, nämlich durch sogenannte Schwingungen und zwar entweder durch Schwingungen fester Körper oder durch Schwingungen der Luft selbst. Doch auch nicht die Schwingungen jedes festen Körpers sind musikalisch, wenn sie auch immer einen Ton bilden. Ich habe hier z. B. 8 Hölzer, welche, wenn ich dieselben auf den Boden werfe und hiedurch in Schwingungen versetze, ebenfalls die Tonleiter hören lassen; wohlklingend werden Sie aber diese Töne kaum finden, falls Sie nicht etwa selbst das Holz- und Stroh-Instrument spielen.

Ich will versuchen, Ihnen wenigstens eine Idee davon zu geben, was man eine Schwingung nennt, und was heut zu Tage von der grössten Wichtigkeit für die Physik ist. Denn nachdem man die Bedeutung der Schwingungen für die Tonbildung erkannt hatte, fand man, dass auch das Licht auf Schwingungen beruhe; dasselbe wies man dann für die Wärme nach und hofft wohl auch die Elektricität darauf zurückführen zu können.

Ich will Ihnen zwei Beispiele vorführen. Das erste ist das Pendel einer Pendeluhr. Gewiss haben Sie einem solchen schon oft zugesehen, wie sich dasselbe um die Lage hin und her bewegt, die es einnimmt, wenn die Uhr stehen geblieben. Gerade so schwingt jede Zinke dieser Stimmgabel, falls ich dieselbe durch einen Schlag oder sonst wie aus ihrer Ruhelage bringe; das freie Ende einer Zinke entspricht dem unterem Ende des Pendels. Die Schwingungen des Pendels folgen einander nur viel zu langsam, um einen Ton zu geben. Bei der Stimmgabel aber folgen sich die Erschütterungen der Luft, welche beim jedesmaligen Hin- und Hergang einer Zinke entstehen, rasch genug, um einen Ton hervorzubringen.

Das zweite Beispiel führt uns in den Kinderpark. Sie können da häufig sehen wie zwei Kindsmädchen eine Schnur, jedes an einem andern Ende gefasst haben, und sie im Kreise herumschwingen. Ein Kind springt dann jedesmal über die Schnur, sobald dieselbe möglichst nahe dem Boden ist. Dieses Kind zeigt uns durch sein Hüpfen an, wie viele Schwingungen von der Schnur gemacht worden sind, zählen wir die Sprünge, so erhalten wir die Schwingungszahl der Schnur für eine gewisse Zeit. Diese Zahl ist aber viel zu klein, als dass die Schnur wirklich einen Ton gäbe. Anders ist es jedoch wenn wir dieselbe spannen, wie diess bei den Saiten unserer Instrumente der Fall ist. Eine Saite schwingt im wesentlichen gerade so wie die oben betrachtete Schnur, bei der Saite folgen sich aber die Schwingungen desto rascher, je stärker sie gespannt ist, sie gibt

also einen Ton, dessen Höhe mit der Spannung steigt. Eine einmal gespannte Saite gibt aber nur einen gewissen Ton und ich muss, um auf diese Weise verschiedene Töne hervorzubringen, entweder wie beim Klaviere verschiedene lange Saiten anwenden, oder ich muss wie bei der Violine die Saite dadurch verkürzen, dass ich sie mit dem Finger auf das Griffbrett drücke, so dass jedesmal nur das Stück der Saite zwischen dem Steg und dem Finger schwingen kann. Wie die Erfahrung lehrt, steigt nämlich mit der Kürze der Saite auch die Höhe des Tones.

In ähnliche Schwingungen kann man nun auch die Luft versetzen, welche in Röhren eingeschlossen ist, und so Töne hervorbringen. Es beruhen hierauf alle unsere Blasinstrumente, die Physharmonika, die Orgel, ja auch der menschliche Gesang. Es würde uns zu weit führen, die Schwingungen der Luft näher zu betrachten, sie haben das Ueble, dass sie nicht so unmittelbar mit dem Auge gesehen werden können; so viel ergibt sich aber schon aus der Analogie mit den Saiten, dass der Ton einer Pfeife von der Länge derselben abhängt, und desto höher wird, je kürzer dieselbe ist.

Statt also von der Anzahl der Lufterschütterungen zu reden, die einem bestimmten Ton entsprechen, werden wir in der Folge kurz von dessen Schwingungszahl sprechen und dieselbe immer auf die Sekunde als Zeiteinheit beziehen, auf die Sekunde, d. i. der 60. Theil einer Minute oder die kurze Zeit, welche jedesmal verfliesst, während ich zähle eins, zwei, drei, vier etc. Wenn wir also sagen, die Schwingungszahl eines Tones ist 300, so heisst diess, dass dieser Ton, falls er eine Sekunde lang dauert, 300 Schwingungen ausführt, hat jedoch der Ton nur eine halbe Sekunde lange gedauert, so hat er natürlich während der Zeit seiner Dauer nur die Hälfte, 150 Schwingungen gemacht, dauert er dagegen 3 Sekunden lang, so hat er 900 Schwingungen ausgeführt.

Den Unterschied in der Höhe zweier Töne beurtheilt man nun nach dem Verhältniss der Schwingungszahlen dieser Töne. Man dividirt die grössere Zahl durch die kleinere, und nennt diesen Bruch das Intervall dieser Töne. Haben wir zwei Töne mit 800 und 400 Schwingungen in der Sekunde, so ist der eine offenbar zweimal so hoch als der andere, ihr Intervall ist 2. Den Tönen von 600 und 400 Schwingungen entspricht natürlich das Intervall $^6/_4$ oder was dasselbe $^3/_2$. Ich bemerke hier noch, dass man das Intervall $^{16}/_{15}$ einen halben, das Intervall $^9/_8$ aber einen ganzen Ton nennt.

Die Schwingungszahlen der musikalischen Töne liegen aber innerhalb gewisser Grenzen, sowohl nach unten als nach oben. Wir haben ja gesehen, dass, wenn die Erschütterungen der Luft sehr langsam auf einander folgen, sie getrennt wahrgenommen werden und erst bei einer gewissen Geschwindigkeit sich zu einem Ton zusammensetzen. An grossen Orgeln steigt man allerdings bis zu einem Ton mit nur $16^1/_2$ Schwingungen herab, doch ist diess kaum mehr ein Ton zu nennen, und ist nur in Verbindung mit seinen höheren Octaven zu gebrauchen. In der Orchestermusik begnügt man sich mit einem Tone von $41^1/_4$ Schwingungen in der Sekunde, während moderne Klaviere bis $27^1/_2$ Schwingungen herabgehen. — Anderseits lässt sich auch bei Tönen, deren Schwingungen zu rasch aufeinander folgen, nur sehr schwer ihre Höhe unterscheiden, ausserdem sind solch' hohe Töne mehr unangenehm als wohlklingend. Man verwendet daher keine allzu hohen Töne mehr in der Musik, und obwohl man bei physikalischen Versuchen noch Töne von 38000 Schwingungen wahrgenommen hat, wurde das Klavier nur etwa bis 4200 Schwingungen ausgedehnt. Der höchste Ton, der aber in der Musik gebraucht wird, gibt die Piccolo-Pfeife mit etwa 4700 Schwingungen in der Sekunde.

Was nun die Unterscheidung der Töne innerhalb der angegebenen Grenzen betrifft, so ist sie bekanntlich bei verschiedenen Menschen sehr verschieden. Leute mit feinem Gehör können in höheren Lagen Töne unterscheiden, die nur um ein paar Schwingungen in der Sekunde differiren, in tiefen Lagen genügen schon Bruchtheile einer Schwingung, um eine Aenderung in der Tonhöhe wahrnehmen zu lassen.

Sie sehen hieraus, dass trotz der angegebenen Grenzen der Musik noch eine ungeheure Menge von Tönen zu Gebote steht, eine Mannigfaltigkeit, welche viel zu gross ist, um sie in einem Musikstück zu verwenden. Es wäre als ob man die Worte aller Sprachen durch einander mischen wollte, um ein poetisches Kunstwerk zu schaffen. Nicht in der Ungebundenheit liegt der Keim des Schönen, in der Beschränkung erkennt man den Meister. Alltägliche Worte nach ihren kurzen und langen Silben angeordnet, werden im Munde des Poeten zum begeisternden Gedicht. Und so ist es auch mit den Tönen, nur ordnet man dieselben nicht nach Kürze und Länge, sondern man unterscheidet sie durch ihre Consonanz und durch ihre Dissonanz.

Lassen Sie uns das Unangenehme die Dissonanz zuerst abthun und sehen, worin es denn liegt, dass benachbarte Töne, d. h. Töne, die um einen halben bis einen ganzen Ton von einander abstehen, einen so unangenehmen Eindruck auf unser Ohr hervorbringen, wenn sie zu gleicher Zeit erklingen. Der Grund ihrer Disharmonie liegt in den Schwebungen, die sie mit einander bilden, und deren Wesen ich nun zu erklären haben werde.

Hier sind zwei Metronome, Instrumente, die bekanntlich den Musikern zur Angabe der Taktheile dienen; das verschiebbare Gewicht beider ist auf dieselbe Zahl gestellt, lasse ich dieselben daher zu gleicher Zeit los, so sollten ihre Schläge immer zusammen fallen. Diess ist aber nicht der Fall, dazu sind sie zu wenig genau gearbeitet, sondern während das eine Pendel 10 Schläge gibt, macht das andere 11. Die Folge davon ist, dass wenn die beiden Pendel einmal zu gleicher Zeit schlagen, diess erst wieder nach 10 Schlägen des einen Pendels geschieht, während welcher Zeit das andere Pendel 11 Schläge gemacht hat, so dass der 10. des einen und der 11. Schlag des andern Pendels wieder genau zusammentreffen. Das jedesmalige Zusammentreffen beider Schläge bewirkt, wie sie hören eine Verstärkung des Tones; zwischen zwei Verstärkungen wirken aber die beiden Pendel störend auf einander ein. Man nennt nun eine solche Störung und eine Verstärkung des Tones zusammen eine S c h w e b u n g. Es ist aber klar, dass so oft eine Schwebung geschieht, das eine Pendel um einen Schlag mehr gemacht hat als das andere. Macht das eine Pendel 16 Schwingungen in derselben Zeit als das andere 15 macht, so würden nach je 15 Schlägen des letzteren die Schläge wieder zusammenfallen und eine Schwebung geschehen sein.

Es ist jetzt auch leicht einzusehen, dass wenn in einer und derselben Zeit das eine Pendel um 4 Schläge mehr macht als das andere, dass in dieser Zeit 4 Schwebungen stattgefunden haben müssen, denn theilt man diese Zeit in 4 gleiche Theile, so wird in jedem dieser Theile das eine Pendel um einen Schlag vorausgeeilt sein, was ja jedesmal eine Schwebung bewirkt.

Aehnlich verhält es sich nun, wenn wir zwei Töne zusammen erklingen lassen, welche nicht genau dieselbe Schwingungszahl haben. Es wird ein Moment kommen, wo beide zu gleicher Zeit eine Schwingung ausführen, da wird ihre Wirkung auf unser Ohr sich verstärken, ihr Ton wird anschwellen. Nun aber eilt der eine Ton vor, die Lufterschütterungen der beiden Töne kommen in immer grösseren Abständen an unser Ohr, stören sich gegenseitig so lange, bis dieser

Abstand wieder eine ganze Schwingung beträgt, bis der schnellere Ton um eine Schwingung mehr gemacht hat als der andere, dann beginnen beide Töne wieder zu gleicher Zeit ihre Schwingung und wir hören abermals eine Verstärkung des Tones. Um diese Schwebungen nachzuweisen, will ich mich zweier Orgelpfeifen bedienen, die durch verschiebbare Stempel geschlossen sind, und die ich durch diesen Blasbalg zum Tönen bringen kann. Die Stempel sind so gestellt, dass jetzt beide Pfeifen denselben Ton geben, wie ich sie tönen lasse. Nun will ich die eine Pfeife etwas verstimmen, höher machen, indem ich den Stempel ein klein wenig hineindrücke. Nun hören Sie das Schweben des Tones, die einzelnen Schwebungen folgen sehr langsam aufeinander. Ich erhöhe die eine Pfeife nun noch mehr, der Unterschied in den Schwingungszahlen wird dadurch grösser, in derselben Zeit müssen daher mehr Schwebungen geschehen; Sie können aber diese Schwebungen noch immer leicht zählen. Nun aber komme ich zu einem Punkt, wo die einzelnen Schwebungen nicht mehr wahrnehmbar sind, die beiden Töne bilden jetzt auch eine abscheuliche Dissonanz.

Wir sehen, dass, wenn die Anzahl der Schwebungen sehr gering ist, etwa 4 bis 6 in der Sekunde, sie den Einklang zweier Töne nicht wesentlich stören; im Gegentheil, sie können bei getragener Musik sogar einen sehr feierlichen Effect hervorbringen. Man hat daher auch bei Orgeln und Physharmoniken eigens etwas verstimmte Register, die mit den gewöhnlichen Registern Schwebungen bilden. Man ahmt auf diese Weise das Tremuliren der Violine und der menschlichen Stimme nach.

Wird jedoch die Anzahl der Schwebungen grösser, etwa 20—30 in der Sekunde bei mittlerer Lage der Töne, so bringen sie einen sehr unangenehmen Effect auf unser Ohr hervor, welchen wir als den der Dissonanz bezeichnen. Es mag diess damit zusammenhängen, dass jede Sinneserregung, die sich mit einer bestimmten Geschwindigkeit wiederholt, uns unangenehm wird; das Zittern einer Gasflamme kann dem Auge unerträglich werden, während die ruhig brennende Flamme das Auge nicht stört. Es soll eine der grössten Torturen gewesen sein, Wasser tropfenweise auf das Haupt eines Menschen fallen zu lassen.

Diese Beispiele lehren uns aber zugleich, dass wenn auch ein gewisses Tempo in den aufeinander folgenden Reizungen unsere Sinne verletzt, bei einer schnelleren Aufeinanderfolge dieser unangenehme Effect wieder verschwindet, die einzelnen Reizungen setzen

sich zu einem continuirlichen Eindrucke zusammen. So ist es auch mit unserem Ohr, steigen die Schwebungen noch über die angegebenen Zahlen, so bringen sie keine unangenehme Empfindung mehr hervor.

Wenn ich z. B. noch einmal diese Pfeife vom Einklange mit der andern Pfeife angefangen verkürze, so hören sie nochmals das Wachsen der Schwebungen. Sie hören jetzt die Dissonanz des halben, jetzt die Dissonanz eines ganzen Tones, nun aber stimmen die beiden Töne wieder mit einander, sie bilden das Intervall, was man eine kleine Terz nennt. Drücke ich noch weiter hinein, so bekomme ich abwechselnd harmonirende und dissonirende Intervalle. Der Grund der Dissonanz entfernterer Töne kann also nicht mehr einfach in ihren Schwebungen liegen, weil es ja dann auch keine consonirenden Töne geben könnte.

Die nächste Aufgabe ist es nun zu untersuchen, worin denn der Grund der Dissonanz und Consonanz entfernterer Intervalle liegt. Hätten wir es in der Musik wirklich nur mit einfachen Tönen zu thun, wie ich sie zu Anfang unserer Betrachtungen definirte, so gäbe es im Einklange mit dem bisher Gesagten auch gar keine Dissonanzen entfernter von einander liegender Töne. Allein die Töne unserer Musikinstrumente, sowie der menschlichen Stimme sind gar keine einfachen Töne, es sind vielmehr Klänge, zusammengesetzt aus einer ganzen Reihe einfacher Töne. Es ist nicht einmal möglich, an unseren Instrumenten einen einfachen Ton hervorzubringen, sondern wenn wir irgend einen Ton angeben, so hören wir auch noch gleichzeitig die Töne welche 2, 3, 4, 5mal, u. s. f. so schnell schwingen. Man nennt diese Töne die Obertöne des angegebenen Grundtons. Wie so aber diess möglich ist, wollen wir wieder an der gespannten Saite studiren. Da muss ich freilich zuerst das widerrufen, was ich früher sagte, dass eine Saite bei gleich bleibender Spannung nur einen einzigen Ton geben kann, sie kann in der That auch noch andere geben, aber nicht beliebige, sondern die Töne welche 2, 3, 4, 5mal u. s. f. so schnell schwingen, kurz sie kann auch noch ihre Obertöne geben. Ich will Ihnen diess an diesem Kautschukschlauche nachweisen, indem ich die Rolle eines der früher angeführten Kindsmädchen selbst übernehme. Der Schlauch ist mit einem Ende an der Wand befestigt, das andere Ende halte ich in der Hand und bringe durch die Bewegung desselben den Schlauch zum Schwingen. Ich lasse ihn zuerst seiner ganzen Länge nach schwingen. Diese schon betrachtete Schwingungsweise entspricht seinem

Grundton; freilich können Sie hiebei nicht erwarten einen Ton zu hören, da die Schwingungen des Schlauches viel zu langsam aufeinander folgen.

Ich werde aber nun durch eine raschere Bewegung meiner Hand den Schlauch zwingen schneller zu schwingen. Geben Sie Acht, was geschieht, der Schlauch theilt sich in zwei Hälften, die für sich getrennt schwingen, der Punkt in der Mitte bleibt in Ruhe. Den Schwingungen des halben Schlauches entspricht die doppelte Geschwindigkeit. Die letzte Schwingungsweise des Schlauches repräsentirt uns also einen Ton, dessen Schwingungszahl doppelt so gross ist als die des Grundtons. Ich werde nun den Schlauch zwingen, noch schneller zu schwingen, er muss sich dazu in noch kürzere Stücke zerfällen. Der Schlauch schwingt jetzt wie Sie sehen in 3 Theilen und wir haben bei $^1/_3$ und $^2/_3$ Punkte, welche in Ruhe bleiben, trotzdem ich den Schlauch heftig schüttle, es sind diess sogenannte Knotenpunkte; die Schwingungszahl dieses Tones ist aber 3mal so gross als die des Grundtones.

Vielleicht gelingt es auch 3 Knotenpunkte hervorzubringen, entsprechend einem Ton von $^1/_4$ Saitenlänge oder der 4fachen Schwingungszahl des Grundtons.

Ich werde versuchen sogar 4 Knotenpunkte zu machen.

Diese Experimente kann man auch bei den Saiten der Violine anstellen, nur hat man da die Geschwindigkeit, mit der die Saite schwingen soll, nicht so in der Hand wie bei dem Kautschukschlauch, man muss daher ein Hilfsmittel gebrauchen, um die Abtheilung der Saite in 2, 3 oder 4 Theile zu bewirken. Man berührt nämlich, während man die Saite streicht, dieselbe leicht an einer Stelle, wo ein Knotenpunkt hinfallen soll, durch das Berühren mit dem Finger wird ja dieser Punkt am Schwingen gehindert und die Saite theilt sich so ab, dass dort wirklich ein Knotenpunkt hinfällt. Es sind diess die den Violinspielern hinreichend bekannten Flageolettöne. Will ich einen solchen Ton hervorbringen, der dreimal so schnell schwingt als der Grundton, so habe ich bei $^1/_3$ die Saite leicht zu berühren, dort aber zu streichen wo die heftigste Bewegung sein wird.

Diese Obertöne entstehen aber auch immer gleichzeitig mit dem Grundton, sobald man die gespannte Saite bloss ihrer ganzen Länge nach schwingen lassen will. Die Art und Weise, wie wir die Saiten zum Tönen bringen, unterscheidet sich nämlich wie schon gesagt wesentlich von der Methode, durch die ich den Kautschukschlauch in Schwingungen versetzte, wo ich durch meine Hand die

Geschwindigkeit dieser Schwingungen genau bestimmen konnte. Die Saiten werden nämlich entweder durch das Streichen mit dem Bogen oder durch das Anschlagen mit einem Hammer zu Schwingungen veranlasst; welche Schwingungsweise wird nun die Saite annehmen, da sie ja, wie wir gesehen, sowohl ohne als mit 1, 2, 3, 4 Schwingungsknoten tönen kann? Die Saite benimmt sich da mit viel Weltklugheit, sie sucht es allen diesen Tönen recht zu thun, sie besitzt auch dazu die nöthige Elasticität. Freilich muss sie dabei eine Gestalt annehmen, die nichts mehr mit der schönen Wellenform einfacher Töne gemein hat. Um diese Gestalt zu finden, hätte ich nur zu untersuchen, wo die Punkte der Saite in Folge der einzelnen Schwingungen sein müssen. Diese einzelnen Wege habe ich zusammen zu addiren und erhalte dann den Weg, den ein Punkt der Saite zurücklegt, wenn jene Schwingungen zu gleicher Zeit auf dieselbe einwirken. Diese Addition der einzelnen Schwingungen geht überhaupt nur, wenn die Schwingungen wie bei den gespannten Saiten sehr klein sind, wo sie ja dem freien Auge fast verschwinden. Unser Schlauch kann nicht zweien Schwingungen zu gleicher Zeit folgen. Wollte ich zur Schwingungsweise des Grundtones noch die mit einem Knotenpunkt hinzuaddiren, so würde derselbe stellenweise so gestreckt werden, dass er bleibende Dehnungen erfahren könnte.

Die Schwingungsweise der Violinsaiten ist in Folge der Obertöne eine sehr complicirte, nach den Untersuchungen von Helmholtz sieht Saite in jedem Momente ganz eckig aus. Das Ohr hat aber doch die Fähigkeit, die einzelnen Töne, aus denen sich diese complicirte Schwingungsweise zusammensetzt, heraus zu hören. Es unterscheidet sich hiedurch wesentlich vom Auge, das in einer Mischfarbe die einzelnen Farben nicht zu erkennen vermag. Es ist übrigens die Wahrnehmung der Obertöne für das Ohr auch nicht gar so einfach. Ein gutes Ohr kann wohl die ersteren Obertöne heraushören, besonders wenn man sich früher diese Töne an einem andern Instrumente dem Ohr eingeprägt hat. Für die höheren Obertöne muss man aber zur Resonanz seine Zuflucht nehmen, indem man durch passende Röhren, welche man in's Ohr steckt, einen der Obertöne gegenüber den andern besonders verstärkt.

Dass durch die Resonanz einer in einer Röhre eingeschlossenen Luftsäule ein bestimmter Ton sehr verstärkt werden kann, ist Ihnen ja wohl bekannt und ich will diess nur im Vorübergehen an dieser Glocke demonstriren, welche ich durch Streichen mit einem Violinbogen zum Tönen bringe. Nähere ich nun dieses Papprohr

so schwellt der Ton stark an durch die Resonanz der Luft in dem Papprohr. Der Versuch gelingt aber nur bei einer gewissen Länge des Rohres, nämlich bei derjenigen Länge, wo die Luftsäule in dem Rohr denselben Ton gibt wie die Glocke.

Mit Hilfe solcher Resonanzröhren kann man bei Saiten bis zu 17 Obertöne wahrnehmen. Für die Schwingungen der Luft gelten natürlich ähnliche Verhältnisse. Auch eine gesungene Note enthält eine Reihe von Obertönen, letztere wurden in der menschlichen Stimme sogar zuerst und schon zu Anfang des verflossenen Jahrhunderts von Rameau entdeckt. Bei den Blasinstrumenten bekommt man durch stärkeres Anblasen die Obertöne. Diese oben offene Orgelpfeife gibt mir wenn ich stärker hineinblase einen Ton, der zweimal so viel Schwingungen in der Sekunde macht als der ursprüngliche Ton. Blase ich dagegen diese oben geschlossene Pfeife stärker an, so erhalte ich gleich einen Ton, der 3mal so viel Schwingungen macht als der tiefste Ton der Pfeife. Aus einer solchen „gedeckten" Pfeife kann ich den Ton mit 2mal soviel Schwingungen nicht herausbekommen. Im Einklange hiemit steht es, dass der Grundton dieser Pfeife nur Obertöne hat mit 3mal, 5mal, 7mal u s. f. Schwingungen als er selbst macht.

So wie diese offenen und gedeckten Pfeifen, so unterscheiden sich alle Instrumente mehr oder weniger durch die Obertöne, mit denen sie einen angegebenen Ton begleiten. Daher rührt, dass eine und dieselbe Note auf der Violine oder auf der Trompete gespielt verschieden klingt trotz der gleichen Höhe. Diesen verschiedenen Eindruck den derselbe Ton macht, nennt man die Farbe desselben und Sie wissen jetzt, dass die verschiedene Klangfarbe der Instrumente daher rührt, dass die einzelnen Instrumente verschiedene der Obertöne besonders begünstigen, so dass die Mischung aus Grundton und Obertönen für die verschiedenen Instrumente eine verschiedene wird. Wir können nun auch so unbestimmte Ausdrücke wie dumpf, voll, leer, die wir den Tönen beilegen, genau definiren. Ein Ton ist dumpf und weich, wenn er keine oder nur schwache Obertöne hat, wie die Töne der Stimmgabeln. Zu einem angenehmen Ton sind immer einige Obertöne nothwendig, herrscht dabei der Grundton vor, so ist der Klang voll, sind die Obertöne vorherrschend, so ist der Klang leer: fehlen die Obertöne mit 2, 4, 6mal so viel Schwingungen, so ist der Klang hohl und näselnd wie bei den gedeckten Orgelpfeifen und der Klarinette. Einen Klang mit sehr vielen Obertönen nennen wir scharf.

Kehren wir nach dieser Abschweifung zu unserem eigentlichen Thema zurück. Die Obertöne sind es, welche uns auch die Dissonanz und Consonanz weiter aus einander liegender Töne erklären. Wenn nämlich zwei Töne wegen zu grossen Intervalles auch keine unangenehmen Schwebungen geben, so können doch gewisse ihrer Obertöne so nahe an einander liegen, dass sie gerade eine unser Ohr verletzende Anzahl von Schwebungen zu Stande bringen. Die Dissonanz entfernterer Intervalle liegt also in den Schwebungen ihrer Obertöne. Offenbar hat es kein Interesse die Unzahl der möglichen dissonirenden Intervalle zu betrachten, wichtig ist uns gerade solche Töne zu finden, die gut zusammen klingen. Die Bedingung der Consonanz ist aber nach dem Gesagten klar, die Obertöne sollen nämlich keine Schwebungen mit einander bilden. Diess ist offenbar vollständig der Fall, wenn die Obertöne beider Klänge wechselweise zusammen fallen. Nehmen wir beispielsweise an, wir hätten zwei Töne C und c, welche in einer Sekunde beziehungsweise 1 und 2mal schwingen; die Obertöne des ersten werden dann die Schwingungszahlen

2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, u. s. f.

haben die des zweiten aber

4, 6, 8, u. s. f.;

so dass der Klang C bestehen wird aus den Tönen

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, u. s. f.

der Klang c aber aus den Tönen

2, 4, 6, 8, u. s. f.

der zweite Ton kommt also schon mit allen seinen Obertönen in dem ersten Klange vor. Man nennt den zweiten Ton die Octave des ersteren und wir wissen jetzt, warum Grundton und Octave so gut mit einander stimmen. Indem wir die Octave angeben, wiederholen wir eigentlich nur einen Theil des Grundtones und es ist so begreiflich, dass selbst geübte Ohren oft Octave und Grundton mit einander verwechseln. Es ist diess überhaupt die bestmöglichste Consonanz.

Gehen wir etwa von dem tiefsten C mit 30 Schwingungen in der Sekunde aus, suchen zu diesem die Octave, welche also 60 Schwingungen machen wird, zu diesem Tone wieder die Octave, so zerfällt, wie eine äusserst einfache Rechnung lehrt, das Gebiet der in der Musik verwendeten Töne etwa in 8 Octaven.

Wir haben so in dem grossen Gebiete der Töne Scheidewände errichtet, etwa wie wir Bücher in die einzelnen Fächer eines Kastens

vertheilen, nur genügt es hier ein einziges Fach zu untersuchen, da in den übrigen sich alles wiederholt. Durch Multiplication mit 2, oder zweimal 2 u. s. f., gelangen wir aus einer Octave alsogleich in die andere.

Wir wollen also sehen, welche Töne zwischen dem Grundton C und seiner Octave c mit dem Grundton noch gut stimmen. Da wir der Einfachheit wegen dem Grundton und der Octave die Schwingungszahlen 1 und 2 geben, so müssen wir für die dazwischenliegenden Töne offenbar Schwingungszahlen wählen, die grösser sind als 1, kleiner aber als 2. Betrachten wir etwa den Ton $^3/_2$, der also $1^1/_2$ Schwingungen macht, während der Grundton 1 Schwingung ausführt. Schreiben wir beide Klänge mit ihren Obertönen unter einander

C 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8,, u. s. f.
G $^3/_2$, 3, $4^1/_2$, 6, $7^1/_2$, u. s. f.,

so sieht man dass der 1. und 3. Oberton des neuen Tones mit den Obertönen des Grundtones zusammenfallen; und die nicht zusammenfallenden Obertöne sind weit genug von einander entfernt, um keine unangenehmen Schwebungen zu verursachen. Dieser Ton wird also noch gut mit C harmoniren, wir bezeichnen ihn mit G und nennen ihn die Quint des Grundtones, beides aus Gründen, die erst später klar werden.

Auf ähnliche Weise haben wir nun alle Töne zu untersuchen, deren Schwingungszahlen zwischen 1 und 2 liegen. Da zeigt es sich, dass der Ton $^4/_3$ auch noch gut mit dem Grundton harmonirt, sein zweiter Oberton fällt mit dem 3. Oberton des Grundtones zusammen. Dieser neue Ton heisst die Quart des Grundtones und erhält den Buchstaben F, wenn der Grundton mit C bezeichnet wird. Nun aber haben die guten Consonanzen schon ein Ende. Von den zwei Tönen $^5/_4$ und $^5/_3$ fällt von ihren Obertönen nur mehr einer mit dem 4. Oberton des Grundtones zusammen. Man nennt diese beiden Töne die grosse Terz E und die grosse Sext A. Noch schlechter stellt sich die Sache für die Töne $^6/_5$ und $^8/_5$, welches schon sehr unvollkommene Consonanzen sind, indem erst sehr hohe Obertöne mit einander coincidiren und die andern Obertöne schon bedenklich nahe an einander liegen. Es sind diess die sogenannte kleine Terz Es und die kleine Sext As. Untersucht man noch complicirtere Verhältnisse, so überzeugt man sich leicht, dass gar keine der niederen kräftigen Obertöne mehr zusammenfallen, dass sie hingegen unangenehme Schwebungen geben müssen. Innerhalb der Octave

haben wir also nur:

Absolute Consonanzen	C (1)	c (2)
Vollkommene „	G ($^3/_2$)	F ($^4/_3$)
Mittlere „	E ($^5/_4$)	A ($^5/_3$)
Unvollkommene „	Es ($^6/_5$)	As ($^8/_5$)

Ordnen wir diese Töne nach ihren Schwingungszahlen, deren Verhältniss sich ja aus den angegebenen Brüchen ergibt, so folgen sie folgendermassen aufeinander

C Es E F G As A c

Die Intervalle dieser Töne sind aber zu ungleich, als dass diese Reihe zur Grundlage eines Musikstückes gewählt werden könnte. So besteht z. B. das Intervall C–Es aus $1^1/_2$ Tönen, dagegen das folgende Es–E nur aus einem halben Ton. Eine solche Tonleiter würde denselben Eindruck machen wie eine wirkliche Leiter, bei der aber an verschiedenen Stellen einige Sprossen fehlen. Ueberhaupt bin ich hier mit der Physik zu Ende. Dieselbe hat uns gelehrt, welche Töne mit einander harmoniren und welche disharmoniren, sie hat das Materiale vorbereitet, die künstlerische Wahl aus demselben geschieht aber nicht mehr nach physikalischen Gesetzen sondern nach ästhetischen Principien. Ich sage ausdrücklich ästhetischen Principien, denn dieselben unterscheiden sich wesentlich von den Naturgesetzen. Beide müssen freilich immer erst entdeckt werden, aber während die Naturgesetze unwandelbar sind, ändern sich die ästhetischen Gebote von Zeit zu Zeit, von Volk zu Volk.

Betrachten Sie z. B. die Formänderungen, welche die Poesie nur in Europa erfahren hat. Im Alterthum bei Griechen und Römern finden Sie einen kunstreichen Versbau, im früheren Mittelalter bei den germanischen Nationen den Stabreim oder die Alliteration, mit der Sie sich gerade jetzt in Wien sehr vertraut machen können. Erst zuletzt trat allgemein der Endreim als tonangebend auf.

Aehnlich ging es mit der Musik. Die Griechen kannten bloss homophone Musik, d. i. bloss Melodie ohne Begleitung, oder höchstens mit Begleitung in der Octave. Das Monotone eines solchen einstimmigen Gesanges verschwand dadurch, dass die Musik enge mit dem Text verknüpft war, und der letztere eigentlich die Hauptsache war. Im Mittelalter treffen wir schon polyphone Musik, die man dadurch entdeckte, dass man zwei verschiedene Melodien zu gleicher Zeit absang. Man fand so zur Ueberraschung, dass diess oft ganz

nett klingt. Man entdeckte dabei die Wirkung der Accorde. Die einzelnen Stimmen waren noch selbstständig.

Bei der modernen Musik tritt nun die früher nebensächliche Harmonie in den Vordergrund, dieselbe wird zur Vollendung des Kunstwerkes ebenso nothwendig wie die Melodie. Die Forderungen der modernen Musik fasst Helmholtz, dessen Arbeiten ja so grosses Licht in die musikalische Akustik brachten, in den Satz zusammen: dass die ganze Masse der Töne und Harmonieverbindungen in enge und stets deutliche Verwandtschaft zu einem frei gewählten Grundton zu setzen sei, dass aus diesem sich die Tonmasse des ganzen Satzes entwickle und in sie wieder zurückkehre.

Wir wollen nun von diesem Satze Anwendung machen, um die Tonleiter d. h. um die Reihe von Tönen zu bilden, mit Hilfe deren ein selbstständiges Musikstück ausgeführt werden könnte. Wir haben die Töne kennen gelernt, welche mit dem Grundton harmoniren, es wird jetzt darauf ankommen, anzugeben, welche dieser Töne auch zu zweien gut mit dem Grundton stimmen. Wir haben noch, um eine vollständige Harmonisirung einer Melodie zu ermöglichen, die Dreiklänge oder die Accorde zu studiren. Beginnen wir mit dem besten Zweiklang dem des Grundtones mit der Quint C G, es handelt sich noch einen Ton dazu zu finden, der sowohl mit C als auch mit G gut stimmt. Die Quart F kann diess nicht sein, die stimmt zwar mit C aber nicht mit G, da, wie die Schwingungszahlen lehren, F und G nur um einen ganzen Ton von einander abstehen. Dasselbe gilt von der grossen und kleinen Sext; bleibt nur übrig die grosse und kleine Terz. Von diesen stimmt die grosse Terz E etwas besser mit C, sie stimmt aber auch mit G; denn eine sehr einfache Division würde lehren, dass das Intervall E–G das ist, was wir eine kleine Terz nannten. Anderseits stimmt auch die kleine Terz Es mit G, das Intervall Es–G ist ja eine grosse Terz. Wir erhalten so zwei Accorde

C E G und C Es G

der erstere ist der Dur-Dreiklang, der zweite der Moll-Dreiklang auf C. Der zweite klingt etwas schlechter, da wie wir gesehen, die kleine Terz Es des Grundtones schlechter mit demselben harmonirt als die grosse Terz E. Diess scheint Ihnen vielleicht nicht im Einklange zu stehen mit der Bezeichnung Dur und Moll. Allein diese Bezeichnung hat nichts zu thun mit dem harten oder sanften Charakter der Accorde, sondern rührt von der eckigen und runden Form der Kreuze und B's her, die man zur Erhöhung und Erniedrigung

der Töne einführte. Es ist überhaupt mit dem Charakter, der von verschiedenen Schriftstellern den Dur- und Molltonleitern beigelegt wird, eine eigenthümliche Sache und ich muss es ihrem eigenen Ermessen überlassen, ob Schilling in seiner Beurtheilung von C dur und C moll Recht hat. Nach demselben hat nämlich C dur den Charakter der Unschuld, Einfalt, der Naivetät der Kindersprache, während C moll höheres Gefühl ausdrücken soll, Schmachten, Sehnen, Seufzen einer tieffühlenden, keines Truges fähigen Seele.

Auf gleiche Weise, wie wir die Quint C G untersuchten, können wir jetzt auch von der Quart ausgehen. Diese gibt uns wieder 2 Accorde, sogenannte Quartsextaccorde. Je nachdem wir die grosse oder kleine Text wählen, erhalten wir

C F A oder C F As.

Nimmt man in diesen Accorden statt des Grundtones die Octave, so sind diese Accorde nichts anderes als der Dur- und Moll-Dreiklang auf F. Schliesslich erhalten wir noch zwei Accorde

C E A oder C Es As,

je nachdem man zur grossen oder kleinen Terz die grosse oder die kleine Sext fügt. Die Intervalle E–A, Es–As sind ja harmonische, es sind wie die Schwingungszahlen dieser Töne lehren: Quarten. Nimmt man in den letzteren Accorden statt A und As ihre untere Octave, so geht der eine Accord in den Moll-Dreiklang auf A, der zweite aber in den Dur-Dreiklang auf As über. Wir haben also innerhalb der Octave 6 Accorde auf dem Grundton, welche in zwei Gruppen

C E G   C Es G
C F A   C F As
C E A   C Es As

zerfallen, je nachdem man die grosse Terz und Sext, E, A, oder die kleine Terz und Sext, Es, As beibehält. Wir haben also entweder die Reihe der Töne

C, E, F, G, A oder C, Es, F, G, As,

entsprechend der Dur- und der Molltonleiter, beide haben aber bis jetzt nur 5 Töne. Solche Tonleiter mit nur 5 Tönen hat es allerdings bei verschiedenen Völkern und in verschiedenen Zeiten gegeben. Die melancholische Wirkung der Gälen, der Nachkommen der alten Celten in Wäles und Schottland beruht auf 5stufigen Leitern. Bei den Chinesen stand die 5stufige Tonleiter so in Ehren, dass sie mit einer Revolution drohten, als einst ein dem Fortschritt huldigender Prinz die Chinesen und die Tonleiter mit 2 neuen Tönen beglücken wollte.

Für unser musikalisches Gefühl ist aber die Vermehrung der Tonleiter auf 7 Töne absolut nothwendig, nicht nur um in die Intervalle jener 5 Töne doch etwa mehr Regelmässigkeit zu bringen und zugleich eine grössere Mannigfaltigkeit zu ermöglichen, sondern hauptsächlich aus folgendem Grunde. Die bisherigen Töne geben uns den Dreiklang des Grundtones und seiner Quart, aber nicht den der Quint. Schliessen wir ein Musikstück, indem wir auf den Dreiklang der Quart den Dreiklang des Grundtones folgen lassen, so fühlen wir uns nicht recht befriedigt, es ist diess auch nur ein sogenannter Halbschluss. In den beiden Accorden kommt nämlich schon der Grundton vor und diess muss natürlich den abschliessenden Eindruck schwächen. Der vorletzte Accord bildet das Heben des Schwertes, das erst in dem letzten Accord auf sein Ziel, den Grundton herabfällt. Da der Dreiklang der Quart diess nicht leistet, so greifen wir zur Quint, welche ohnediess näher dem Grundton verwandt ist. Lassen wir auf den Dreiklang der Quint den des Grundtons folgen, so erhalten wir einen befriedigenden Schluss, einen Ganzschluss. Eine vollständige Cadenz erhalten wir aber, wenn wir den Ganzschluss auf den Halbschluss folgen lassen, indem hierbei alle Töne der gebrauchten Leiter im Schlusse nochmals unserem Ohre vorgeführt werden.

Um also die Bildung des Dreiklanges auf der Quint zu ermöglichen, schalten wir zwischen C und E einen Ton D, zwischen A und der Octave c einen Ton H ein, so zwar dass die Töne

D G H

einen Quartsextaccord bilden. Derselbe geht dann in den gewünschten Dreiklang auf G über, wenn wir statt D die höhere Octave nehmen. Das Intervall D–G muss also eine Quart, G–H eine grosse Terz sein. Daraus ergeben sich durch eine einfache Multiplication die Schwingungszahlen von D und H, nämlich $9/8$ und $15/8$. Wir haben somit die vollständige Durtonleiter und die entsprechenden Schwingungszahlen

C	D	E	F	G	A	H	c
1	$9/8$	$5/4$	$4/3$	$3/2$	$5/3$	$15/8$	2

für die Molltonleiter aber

c	D	Es	F	G	As	H	c
1	$9/8$	$6/5$	$4/3$	$3/2$	$8/5$	$15/8$	2

Hier bin ich nun an dem Ziele angelangt, was ich mir vorsetzte: Ihnen zu zeigen, dass es nicht auf Willkür beruht, wenn unser Tonleiter gerade 7 Töne hat und nicht mehr oder weniger.

Wir haben gesehen, dass diess eine Folge musikalisch-ästhetischer Principien ist, welche sich auf der Consonanz der Töne aufbauen. Wir haben auch gesehen, dass die Consonanz der Töne mit dem einfachen Verhältniss ihrer Schwingungszahlen zusammenhängt, weil in diesem Falle die ersteren ihrer Obertöne zusammen fallen. In so ferne beruht also die Harmonie auf den einfachen Zahlen, nicht aber weil die Seele an dem blossen Verhältnisse dieser Zahlen ein solches Wohlgefallen findet, wie alte und neue Philosophen gemeint haben. Noch thörichter wäre es freilich, überhaupt die bezaubernde Wirkung der Musik aus diesen einfachen Zahlen ableiten zu wollen, diese Wirkung ist wie bei jedem Kunstwerk ein Product des schaffenden Genies. Wenn ich Sie z. B. an jenes Normannen Fräulein erinnere, das vom Thurme sah, als der Taillefer vorbei ritt und bald wie ein Lüftlein sang, bald wie ein Sturm, glauben Sie dass es nur die Freude an den einfachen Verhältnissen $^3/_2$ und $^4/_3$ war, warum das Fräulein rief:

„Der singet, das ist eine herrliche Lust,
Es zittert der Thurm und es zittert mein Herz in der Brust.“

C. Ueberreuter'sche Buchdruckerei (M. Salzer).